

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-107796

(43)Date of publication of application : 24.04.1998

(51)Int.Cl.

H04L 12/24

H04L 12/26

H04B 1/74

H04L 12/28

(21)Application number : 08-277310

(71)Applicant : NEC CORP

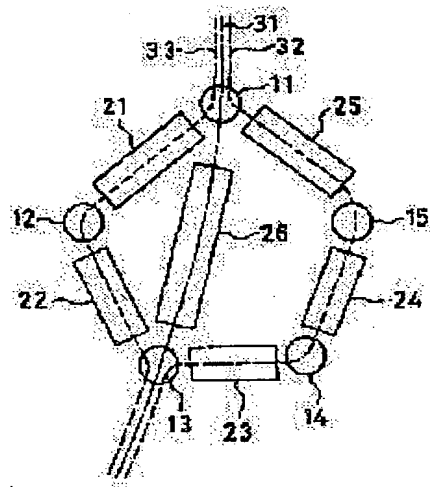
(22)Date of filing : 27.09.1996

(72)Inventor : MIYAO YASUHIRO

**(54) DESIGN METHOD FOR NETWORK****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To design a network satisfying a requirement capacity while coping with a failure/load fluctuation by obtaining an optimum solution through the use of specific functions and restriction conditions.

**SOLUTION:** A network model is built up with variables of network topology, a pattern to designate a failure location, an active path (e.g. a path 31) and a standby path (e.g. paths 32, 33) for each time zone of an OD pair (e.g. a pair of nodes 11, 13) and a required capacity for them. The active and standby paths 31, 32,... used by the OD pair 11, 13 or the like are decided at a desired time zone by using an object function to minimize the cost resulting from link capacity under the condition that the capacity of each of the links 21, 22,... is in matching with the capacity assigned to the paths 31, 32 contained by them. The problem is solved as a mixed integer programming under the restriction condition of the use of a same path when the active and standby paths 31, 32,... used by the OD pair 11, 13 or the like are not affected by a fault of the network.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 27.09.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 18.04.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

**BEST AVAILABLE COPY**

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-107796

(43)公開日 平成10年(1998) 4月24日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 L 12/24

H 0 4 L 11/08

12/26

H 0 4 B 1/74

H 0 4 B 1/74

H 0 4 L 11/20

C

H 0 4 L 12/28

審査請求 有 請求項の数 4 F D (全 15 頁)

(21)出願番号

特願平8-277310

(22)出願日

平成 8 年 (1996) 9 月 27 日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

(72)発明者 宮尾 泰寛

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

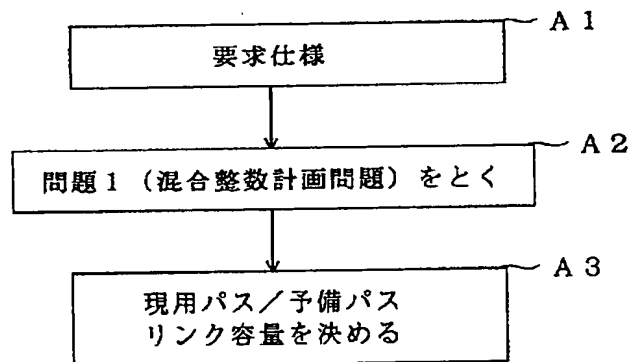
(74)代理人 弁理士 加藤 朝道

(54)【発明の名称】 ネットワークの設計方法

(57)【要約】

【課題】 障害および負荷変動に対処しながら要求容量を満たすネットワーク (NT) を低コストで設計する方法の提供。

【解決手段】 NTのトポロジとNTの障害箇所を指定するパターンと各ODペアの各時間帯の現用パスと予備パスに対する要求容量と各ODペアのパス候補を与え、各時間帯とNTの各状態において各ODペアを結ぶパス候補に割当るべき容量と該パスを使用の有無を示す指標とを変数に含み、各時間帯とNTの各状態において各リンクに収容されるパスに割当てた容量の総和は該リンクの容量を越えない旨の制約条件と、各ODペアが使用する現用パス及び予備パスはそれぞれパス自体がNTの障害の影響を受けない限り同一パスを使用する旨の制約条件を含み、リンク容量に起因するコストを最小化すべき目的関数として混合整数計画問題を解く。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】パスを終端あるいは中継するノードと、前記パスを収容するリンクを含んでなるネットワークを設計する方法において、  
 単一又は複数の時間帯と、前記ネットワークの各障害状態又は正常状態と、無方向又は双方向とに、おいて、各ODペア（Origin and Destination pair）を結ぶ複数の前記パスに割り当てる容量を表す変数と、  
 前記単一又は複数の時間帯と、前記ネットワークの各障害状態又は正常状態と、前記無方向もしくは双方向と、  
 において、前記パスを使用するか否かを表す変数と、  
 前記単一又は複数の時間帯と、前記ネットワークの各障害状態又は正常状態と、前記無方向又は双方向と、  
 において、前記各リンクに収容される前記パスの容量の総和が、前記リンクに割り当てる容量であるリンク容量を越えないことを示す第1の制約条件と、  
 前記単一又は複数の時間帯において、前記各ODペアが前記ネットワークの正常状態で使用する現用パスは、前記ネットワークの各障害状態において前記現用パスが前記ネットワークの障害の影響を受けない場合には使用されることを示す第2の制約条件と、  
 前記単一又は複数の時間帯において、前記現用パスが前記ネットワークの障害の影響を受けた時に、前記各ODペアが使用する予備パスは、前記各ネットワークの障害状態において、前記現用パスが前記ネットワークの障害の影響を受け、かつ前記予備パスが前記ネットワークの障害の影響を受けない場合には使用されることを示す第3の制約条件とを含む混合整数計画問題の解に基づいて、前記単一又は複数の時間帯において、前記各ODペアが使用する、1つ又は複数の前記予備パス及び／又は前記現用パスを決定する、ことを特徴とするネットワークの設計方法。

【請求項2】前記混合整数計画問題が、前記パスを収容する前記リンク容量を変数として含み、前記リンク容量に比例するコストを表す目的関数を最小化することを特徴とする請求項1記載のネットワークの設計方法。

【請求項3】前記混合整数計画問題が、各ODペアの現用パスおよび予備パスに対する要求容量を満足する割合の、前記各ODペアと、前記ネットワークの正常状態および各障害状態との間における最小値で定義される満足度の逆数を変数として含み、  
 予め与えられたリンク容量と前記満足度の逆数を表す変数との積を、前記第1の制約条件におけるリンク容量とし、  
 前記満足度の逆数を表す変数を目的関数として最小化し、  
 前記ODペアが使用する現用パスおよび予備パスに割り当てるべき容量は、前記現用パスおよび予備パスに対する前記要求容量と前記目的関数を最適化した値との商で、それぞれ与えることを特徴とする請求項1記載のネ

ットワークの設計方法。

【請求項4】ネットワークの障害状態において障害が発生したリンク、又は障害が発生したノードに接続するリンクを除いてできるネットワークを新たに正常状態にある第2のネットワークとみなし、

前記第2のネットワークにおける各ODペアの現用パスを、現用パスが前記ネットワークの障害の影響を受けたODペアが使用するパスを予備パスに切替えた時点で、各ODペアが使用するパスで与え、

10 前記混合整数計画問題は、予備パスに対する要求容量を満たす割合の、各ODペアと、前記ネットワークの各障害状態との間における最小値で定義される満足度の逆数を変数に含み、

前記第2のネットワークのリンク容量と前記満足度の逆数を表す変数との積を、前記第1の制約条件におけるリンク容量とし、

前記満足度の逆数を表す変数を目的関数として最小化し、

20 前記各ODペアが使用する予備パスに割り当てるべき容量は、前記予備パスに対する要求容量と前記目的関数を最適化した値との商で与えることを特徴とする請求項1記載のネットワークの設計方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ネットワークの設計方法に関し、特に、ネットワークの障害に対処するネットワークの設計方法に関する。

## 【0002】

30 【従来の技術】従来のネットワーク構成の一例を図4に示す。図4に示すように、ネットワークは、ノード（図中11、12、…15）と、リンク（図中21、22、…26）と、から構成され、各ノードは、パスを中継または終端し、各リンクはパスを収容する。

【0003】図4を参照すると、例えばパス33はノード11、13によって終端され、ノード12によって中継される。また、パス33は、リンク21、22に収容される。

40 【0004】ここで、あるパスを終端する一組のノードを特に「OD（Origin and Destination）ペア」と呼ぶ。

【0005】ネットワークを構成する全てのノードあるいはリンクに障害が発生していない正常状態において、各ODペアが使用するパスを「現用パス」と呼ぶ。例えば図4において、ノード11、13のODペアでは、パス31が現用パスである。

50 【0006】リンク、あるいはパスを中継するノードが障害を起こした場合には、現用パスが障害の影響を受けたODペアは、障害の影響を受けていない別のパスに切替えることになるが、この別のパスを「予備パス」と呼ぶ。例えば図4において、ノード11、13のODペア

## 3

の予備パスとしては、パス32とパス33が考えられ、パス31に障害が発生したことが検知されると、このODペアは、パス32またはパス33に切替えて使用することになる。

【0007】現用パスがネットワークの障害の影響を受けた場合に、予備パスをあるODペア間で設定できるようにするためには、現用パスを収容するのに必要となる容量に対して、冗長な容量を各リンクに予め割り当ておく必要がある。

【0008】この容量を、独立な障害パターンの中で共有することにより、より少ないリンク容量にすることが、コスト面からは望まれている。

【0009】ここで、トポロジーとODペア間での要求容量が与えられた時に、各リンクに割り当てる容量と、現用パスおよび予備パスの経路を決定することを、「物理ネットワークの設計」と呼ぶことにする。

【0010】この物理ネットワーク設計方法の従来技術としては、例えば文献（“Robust traffic design for dynamic routing networks,” IEEE Proceedings of INFOCOM'91, 1991, pp. 508-514）等）に示されるように、障害時でも要求を満たすためのネットワークをより少ないコストで実現することを目的に用いられている。具体的には、ネットワークのトポロジーと、ネットワークのどのリンクが障害であるかのパターンで規定される障害状態と、ネットワークの各障害状態において各ODペアで要求される容量と、が与えられた場合、ネットワークの各障害状態において各パスへ割り当てる容量を変数として収容するために、各リンクに付加すべき容量を考え、これに起因するコストを最小化するという線形計画問題を設定している。

$$\pi_{jk}^s = \prod_{m \in \{m | g_{jk}^m = 1\}} f_m^s \quad (s=0, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k)$$

... (1)

【0017】・ $j_k^{0*}$  : ODペア $k$ が使用する現用パス。

・ $d_m^{0*}$  : 各ODペアの容量 $v_k^N$ の現用パスを収容するためにリンク $m$ に割り当てた容量。

【0018】また、変数を次のように定義する。

【0019】・ $c_{jk}^s$  : 状態 $s$ でパス $j_k$ に割り当てる容量。

## 4

【0011】この問題を定式化するための記号について説明する。まず、番号を次のように振る。

【0012】・ $m=1, \dots, M$  : リンクに振る番号。

・ $k=1, \dots, K$  : ODペアに振る番号。

・ $j_k=1, \dots, J_k$  : ODペア $k$ が使用するパスの候補に振る番号。例えば、図4においては、ノード11、13のODペアが使用するパスの候補としては、パス31、32、33があげられる。

【0013】・ $s=0$  : ネットワークの正常状態に振る番号。

・ $s=1, \dots, S$  : ネットワークの各障害状態に対して振る番号。

【0014】また、定数を次のように定義する。

【0015】・ $w_m$  = リンク $m$ の単位容量当たりのコスト。

・ $g_{jk}^m$  = パス $j_k$ がリンク $m$ を使用する時1、使用しない時0を取るインディケータ。

・ $v_k^N$  = ODペア $k$ の現用パスへの要求容量。

・ $v_k^F$  = ODペア $k$ の予備パスへの要求容量。

・ $f_m^s$  = 状態 $s$ でリンク $m$ が正常の時1、障害の時0を取るインディケータ。例えばリンク $m_1$ 、 $m_2$ が同時に障害である2重リンク障害の状態 $s$ においては、 $f_{m_1}^s = f_{m_2}^s = 0$ であり、他の $M-2$ のリンクは $f_m^s = 1$ となる。

・ $\pi_{jk}^s$  = 状態 $s$ でパス $j_k$ がネットワークの障害の影響を受けない時1、受ける時0を取るインディケータで、次式(1)のように定式化できる。

【0016】

【数1】

・ $y_m$  : リンク $m$ に付加すべき容量。

【0020】以上の記号を用いて、従来の物理ネットワークの設計方法においては、次式(2)から(6)で与えられる線形計画問題を設定する。

【0021】

【数2】

$$\begin{aligned} & 5 \\ & \text{minimize} \quad \sum_{m=1}^M w_m y_m \quad \dots(2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{subject to} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j_k=1}^{J_k} g_{jk}^m c_{jk}^s \leq f_m^s (d_m^{0*} + y_m) \quad (s=1, \dots, S, m=1, \dots, M) \quad \dots(3) \end{aligned}$$

$$\sum_{j_k=1}^{J_k} c_{jk}^s \geq \pi_{jk}^s v_k^N + (1 - \pi_{jk}^s) v_k^F \quad (k=1, \dots, K, s=1, \dots, S) \quad \dots(4)$$

$$c_{jk}^s \geq 0 \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(5)$$

$$y_m \geq 0 \quad (m=1, \dots, M) \quad \dots(6)$$

【0022】ここで、上式(2)は、予備パスを收容するために付加すべきリンク容量に起因するコストを目的関数としてこれを最小化することを示す。

【0023】上式(3)は、各リンクに收容されるパスの容量の総和は、リンクの容量を越えないという制約を表す。

【0024】また上式(4)は、あるODペアが使用するパスに割り当てた容量の総和は、現用パスがネットワークの障害の影響を受けていなければ $v_k^N$ 、現用パスがネットワークの障害の影響を受けていれば $v_k^F$ 以上であるという制約を表す。

【0025】こうしてリンク容量が設計されたネットワークにおいて、要求容量が大きく変動したり、障害発生後現用パスを予備パスに切替えて予備パスが無くなった場合には、次の障害発生時に、要求容量を確保することが困難になるおそれがある。

【0026】そこで、トポロジーとリンク容量が与えられたネットワークにおいて、予備パスもしくは現用パスを再設計し、ネットワークの論理的な構成を変更することが考えられる。こうした設計を「論理ネットワークの設計」と呼ぶ。

【0027】論理ネットワーク設計方法の従来技術としては、例えば文献(「ロバストな需要変動対応型VP網構成・容量制御方式」、1995年信学会技術報告SS E 95-124、第49-54頁)に示されるように、変動する需要に対しても要求信頼性を満足し、需要に

じてネットワーク資源を最大限提供することを目的としている。より具体的には、与えられた物理ネットワークに対して、ネットワークの各障害状態において、正常な各リンクに收容される現用パスおよび予備パスの容量がそれぞれある倍率で増加しても、そのリンクの容量を上回らない最大の倍率を考え、これの各状態間および各リンク間における最小値を拡大率とする。そして、この拡大率を最大化するように、現用パスおよび予備パスの経路を決定する。

【0028】この問題を定式化するために、先に定義した記号に加えて、更に以下の記号を定義する。

【0029】 $e_k^{m0}$ ; ODペアkが正常状態 $s (= 0)$ で使用する現用パスがリンクmに收容される時1、收容されない時0を取る変数。

$e_k^{ms}$ ; ODペアkがネットワークの障害状態 $s (= 1, \dots, S)$ で使用する予備パスがリンクmに收容される時1、收容されない時0を取る変数。

【0030】以上の記号を用いて、従来の論理ネットワークの設計方法では、各ODペアが使用する現用パスと予備パスは与えられたパス候補の中から選ぶことで $e_k^{m0}$ および $e_k^{ms}$ を変化させ、次式(7)で計算される拡大率を最大化するように、現用パスおよび予備パスを決定する。

【0031】

【数3】

$$\min_{m=1, \dots, M} \left[ \frac{d_m^*}{\sum_{k=1}^K e_k^{m0} v_k^N + \max_{s=1, \dots, S} \sum_{k=1}^K e_k^{ms} v_k^F} \right] \quad \dots(7)$$

【0032】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記し

た従来の物理ネットワーク設計方法は、下記記載の問題点を有している。

【0033】(1)第1の問題点は、現用パスが障害の影響を受けた際の予備パスへの切替え制御が複雑になる、ということである。

【0034】その理由は、従来の物理ネットワークの設計方法においては、ネットワークの各障害状態が異なる毎に使用する予備パスが異なるという解や、複数のパスを同時に予備パスとして使うという解が得られる場合がある、ことによる。

【0035】(2)第2の問題点は、現用パスおよび予備パスを同時に設計したり、時間帯毎に、あるいは方向毎に異なる要求容量を考慮して設計した場合に比べて、コストが高くなる、ということである。

【0036】その理由は、現用パスを収容するのに必要なリンク容量に対して、ネットワークの各障害状態を考慮して付加すべき容量を設計している、からであり、また要求容量が時間帯毎にあるいは方向によって異なる場合には、各時間帯間、あるいは各方向での最大値を要求容量とする必要がある、からである。

【0037】また上記した従来の論理ネットワークの設計方法は、下記記載の問題点を有している。

【0038】(1)第1の問題点としては、最適な現用パスおよび予備パスが決定できるとは限らない、ということである。

【0039】その理由は、設計問題における目的関数は、最大化および最小化を含む非線形関数であるので、これを最適化するためには、シミュレティッドアニーリング等のヒューリスティックな方法に頼らざるを得ない、からである。

【0040】(2)第2の問題点は、障害発生時に切り替わった予備パスに対して、さらに予備パスを確保する目的でネットワークの再構成を行う場合のコストが大きい、ということである。

【0041】その理由は、現用パスおよび予備パスを同時に決定するように問題を定式化しているため、あるODペアにおいては、ネットワークの障害の影響を受けなかった現用パスを別のパスに切替えるような解しか得られないおそれがある、からである。

【0042】したがって本発明は、上記従来技術の問題点に鑑みてなされたものであって、その目的は、障害に対処するための制御に必要なリンク容量に起因するコスト、あるいは制御そのものに起因するコストが、より低減されたネットワークを設計する方法を提供することにある。

【0043】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明の第1のネットワーク設計方法（請求項1参照）は、パスを収容するリンクに割り当てるリンク容量と、複数もしくは単一の時間帯と、ネットワークの各障害状態および正常状態において、各ODペアを結ぶ複数のパスに割り当てる容量と、パスを使用するか否かを示

すインディケータとをそれぞれ表す変数を含み、複数もしくは単一の時間帯と、ネットワークの各障害状態および正常状態において、各リンクに収容する各パスの容量の総和はそのリンクの容量を越えないことを示す制約条件と、複数もしくは単一の時間帯において各ODペアが使用する現用パスは、ネットワークの障害状態において、現用パスがネットワークの障害の影響を受けない場合は使用することを表す制約条件と、複数もしくは単一の時間帯において各ODペアが使用する予備パスは、ネットワークの障害状態において、現用パスがネットワークの障害の影響を受け、かつ予備パスがネットワークの障害の影響を受けない場合は使用することを表す制約条件とを含み、リンクに割り当てる容量に比例するコストを表す目的関数を最小化する混合整数計画問題を解き

（図1のステップA2参照）、その解に基づいて、複数もしくは単一の時間帯で各ODペアが使用する現用パスと、1つもしくは複数の予備パスとを決定する（図1のステップA3参照）。

【0044】本発明の第2のネットワーク設計方法（請求項3参照）は、前記混合整数計画問題が、各ODペアの現用パスおよび予備パスに対する要求容量を満足する割合の、前記各ODペアと、前記ネットワークの正常状態および各障害状態との間における最小値で定義される満足度の逆数を変数として含み、予め与えられたリンク容量と前記満足度の逆数を表す変数との積を、前記第1の制約条件におけるリンク容量とし、前記満足度の逆数を表す変数を目的関数として最小化し、前記ODペアが使用する現用パスおよび予備パスに割り当てるべき容量は、前記現用パスおよび予備パスに対する前記要求容量と前記目的関数を最適化した値との商で、それぞれ与えることを特徴とする。

【0045】本発明の第3のネットワーク設計方法（請求項4参照）は、ネットワークの障害状態において障害が発生したリンク、又は障害が発生したノードに接続するリンクを除いてできるネットワークを新たに正常状態にある第2のネットワークとみなし、前記第2のネットワークにおける各ODペアの現用パスを、現用パスが前記ネットワークの障害の影響を受けたODペアが使用するパスを予備パスに切替えた時点で、各ODペアが使用するパスで与え、前記混合整数計画問題は、予備パスに対する要求容量を満たす割合の、各ODペアと、前記ネットワークの各障害状態との間における最小値で定義される満足度の逆数を変数に含み、前記第2のネットワークのリンク容量と前記満足度の逆数を表す変数との積を、前記第1の制約条件におけるリンク容量とし、前記満足度の逆数を表す変数を目的関数として最小化し、前記各ODペアが使用する予備パスに割り当てるべき容量は、前記予備パスに対する要求容量と前記目的関数を最適化した値との商で与えることを特徴とする。

【0046】本発明の概要を以下に説明する。本発明

は、ネットワークのトポロジーとネットワークの障害箇所を指定する障害パターンと、各ODペアの各時間帯における現用パスおよび予備パスに対する要求容量と、各ODペアにおけるパス候補を与える(ステップ1)。次に、これらに基づき各時間帯とネットワークの各状態において各ODペアを結ぶパス候補に割り当てるべき容量とそのパスを使用の有無を示す指標(インディケータ)とを変数に含み、各時間帯とネットワークの各状態において、各リンクに収容されるパスに割り当てた容量の総和は、該リンクの容量を越えないという制約条件と、各ODペアが使用する現用パス及び予備パスはそれぞれパス自体がネットワークの障害の影響を受けない限り同一パスを使用するという制約条件を含み、リンク容量に起因するコストを最小化すべき目的関数として持つ混合整数計画問題を解く(ステップ2)。最後に、この問題を解いて得られる結果から、リンク容量と、各時間帯と各ODペアにおいて、ネットワークの正常状態においてインディケータが1のパスを現用パスとし、現用パスがネットワークの障害の影響を受けかつそのパスが正常である状態においてインディケータが「1」であるパスを予備パスとする(ステップ3)。

【0047】本発明においては、各時間帯毎、ネットワークの正常状態、各障害状態、および方向毎に異なる要求容量を考慮するため、異なる時間帯、異なる状態間、および異なる方向間でリンク容量の共有化が図られ、コストの削減が可能となる。

【0048】また、本発明においては、同一のODペア間において、障害の影響を受けない限り現用パスおよび予備パスは同一のパスを使用することを表す条件を含むので、ネットワークの状態が異なる毎にパスを使用するという解は出て来ない。

【0049】さらに、本発明においては、満足度を最大化するのに、線形な目的関数および制約条件を持つ混合整数計画問題を設定するので最適化が容易となる。

#### 【0050】

【発明の実施の形態】本発明の好ましい実施の形態について以下に説明する。

【0051】本発明の第1の実施の形態について説明する。これは、物理ネットワークの設計方法に関するものである。本発明は、第1の実施の形態において、パスを収容するリンクに割り当てるリンク容量と、複数もしくは単一の時間帯と、ネットワークの各障害状態および正常状態において、各ODペアを結ぶ複数のパスに割り当

てる容量と、パスを使用するか否かを示すインディケータとをそれぞれ表す変数を含み、複数もしくは単一の時間帯と、ネットワークの各障害状態および正常状態において、各リンクに収容する各パスの容量の総和はそのリンクの容量を越えないことを示す制約条件と、複数もしくは単一の時間帯において各ODペアが使用する現用パスは、ネットワークの障害の影響を受けない場合は使用することを表す制約条件と、複数もしくは単一の時間帯において各ODペアが使用する予備パスは、ネットワークの障害状態において、現用パスがネットワークの障害の影響を受け、かつ予備パスがネットワークの障害の影響を受けない場合は使用することを表す制約条件と、を含み、リンクに割り当てる容量に比例するコストを表す目的関数を最小化する混合整数計画問題を解き、その解に基づいて、複数もしくは単一の時間帯で各ODペアが使用する現用パスと、1つもしくは複数の予備パスとを決定するものである。

【0052】まず、問題を設定するために、従来の技術において更に以下の記号を追加定義する。

【0053】・ $h = 1, \dots, H$  : 時間帯に振る番号。要求容量が時間帯毎に異なることを考慮している。

・ $v_k^{Nh}$  : 時間帯 $h$ においてODペア $k$ が現用パスに要求する容量。

・ $v_k^{Fh}$  : 時間帯 $h$ においてODペア $k$ が予備パスに要求する容量。

・ $\delta_{xy}$  :  $x = y$ の時1、 $x \neq y$ の時0を取るインディケータ。

・ $d_m$  : リンク $m$ に割り当てる容量を表す変数。

30 ・ $r_{jk}^{sh}$  : 時間帯 $h$ 、ネットワークの状態 $s$ においてパス $j_k$ を使用する時1、使用しない時0を取るインディケータを表す変数。

・ $c_{jk}^{sh}$  : 時間帯 $h$ 、ネットワークの状態 $s$ においてパス $j_k$ に割り当てる容量を表す変数。

【0054】以上の記号を用いて、本発明の第1の実施の形態に係る物理ネットワークの設計方法においては、次の混合整数計画問題を設計する。但し、ここでは、各ODペアが使用するパスの候補は、互いに同一のリンクを経由しないものとし、障害パターンは一重リンク障害のみを考える。

【0055】【問題1】 :

【0056】

【数4】



$$\text{minimize } \sum_{m=1}^{11} w_m d_m \quad \dots(8)$$

$$\text{subject to } \sum_{k=1}^K \sum_{j_k=1}^{J_k} g_{jk}^m c_{jk}^{sh} \leq f_m^s d_m \quad (s=0, \dots, S, h=1, \dots, H, m=1, \dots, M) \quad \dots(9)$$

$$\sum_{j_k=1}^{J_k} r_{jk}^{sh} = 1 \quad (s=0, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K) \quad \dots(10)$$

$$c_{jk}^{0h} = v_k^{Nh} r_{jk}^{0h} \quad (k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(11)$$

$$c_{jk}^{sh} \geq \pi_{jk}^s v_k^N r_{jk}^{0h} \quad (s=1, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(12)$$

$$r_{jk}^{sh} \geq \pi_{jk}^s r_{jk}^{0h} \quad (s=1, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(13)$$

$$c_{jk}^{sh} \geq v_k^{Fh} r_{jk}^{sh} \quad (s=1, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(14)$$

$$(1 - \delta_{jkj_k'}) (1 - \delta_{ss'}) (1 - \pi_{jk}^s) \left[ \prod_{i \neq j_k}^{J_k} \pi_i^s \right] (1 - \pi_{jk'}^{s'}) \pi_{jk'}^{s'} (r_{jk}^{0h} + r_{jk'}^{sh}) \leq r_{jk'}^{s'h} + 1$$

$$(s, s'=1, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K, j_k, j_k'=1, \dots, J_k) \quad \dots(15)$$

$$d_m \geq 0 \quad (m=1, \dots, M) \quad \dots(16)$$

$$c_{jk}^{sh} \geq 0 \quad (s=0, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(17)$$

$$r_{jk}^s = 0 \text{ or } 1$$

$$(s=0, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(18)$$

【0057】ここで、上式(8)は各リンクに割り当てられる容量に起因するコストの総和が最小化すべき目的関数であることを示す。

【0058】上式(9)は、あるリンクに収容されるパスの容量の総和は、そのリンクの容量を越えないという条件を表す。

【0059】上式(10)は、各時間帯とネットワーク状態において、ODペア $k$ を結ぶ各パスのうち、いずれか1つは必ず使われるという条件を表す。

【0060】上式(11)は、パス $j_k$ が現用パス( $r_{jk}^{0h}=1$ )ならば、容量 $v_k^{Nh}$ を割り当てるという条件

を表す。

【0061】上式(12)は、パス $j_k$ が現用パス( $r_{jk}^{0h}=1$ )で、かつネットワークの障害状態 $s$ においてパス $j_k$ が正常( $\pi_{jk}^s=1$ )ならば容量 $v_k^{Nh}$ を割り当てるという条件を表す。

【0062】上式(13)は、パス $j_k$ が現用パス( $r_{jk}^{0h}=1$ )で、かつネットワークの障害状態 $s$ においてその障害の影響を受けない( $\pi_{jk}^s=1$ )ならば、そのパスを使用する( $r_{jk}^{sh}=1$ )という条件を表す。

【0063】上式(14)は、パス $j_k$ がネットワークの障害状態において使用される( $r_{jk}^{sh}=1$ )ならば、

少なくとも容量  $v_k^{Fh}$  を割り当てるという条件を表す。

【0064】上式(15)は、バス  $j_k$  が現用バスであり ( $r_{jk}^{Oh}=1$ )、かつ状態  $s$  で、現用バス  $j_k$  以外の全てのバスが正常状態であり、

【0065】

【数5】

$$s((1-\pi_{jk}^s) \prod_{i \neq jk}^{Jk} \pi_i^s = 1)$$

【0066】、且つ、この状態  $s$  でバス  $j_{k'}$  が予備バスとして選択され ( $r_{jk}^{sh}=1$ )、かつ状態  $s'$  で現用バス  $j_k$  が障害にあり、且つ、予備バス  $j_{k'}$  が障害の影響を受けない ( $(1-\pi_{jk}^{s'h}) \pi_{jk}^{s'h}=1$ )、ならば、状態  $s'$  でバス  $j_{k'}$  は使用される ( $r_{jk}^{s'h}=$

$$\phi_{jk}^{ms} \equiv g_{jk}^m f_m^s \left[ 1 - \prod_{m' \in \{m' | g_{jk}^{m'}=1, m' \neq m\}} f_{m'}^s \right]$$

$$= g_{jk}^m (f_m^s - \pi_{jk}^s) (s=0, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(20)$$

【0070】これより、時間帯  $h$  と状態  $s$  で正常なリンク  $m$  において、経由する他のリンクの障害の影響を受けた現用バスの容量の総和は次式(21)で与えられる。

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j_k=1}^{Jk} \phi_{jk}^{ms} c_{jk}^{Oh} \quad (s=0, \dots, S, h=1, \dots, H, m=1, \dots, M) \quad \dots(21)$$

【0072】状態  $s$  と、時間帯  $h$  において収容すべきバスの容量の総和はリンクの容量を越えてはならないので、現用バスがネットワークの障害の影響を受けたODペアが、現用バスが経由する各リンクにおいて現用バス

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j_k=1}^{Jk} (g_{jk}^m c_{jk}^{sh} + \phi_{jk}^{ms} c_{jk}^{Oh}) \leq f_m^s d_m$$

$$(s=0, \dots, S, h=1, \dots, H, m=1, \dots, M) \quad \dots(22)$$

【0074】この第1の実施の形態の第2の変形例は、2重リンク障害を考慮した時の第2予備バスの選択方法に関する制約条件である。このとき、上記【問題1】

$$(1-\delta_{jkjk'}) (1-\delta_{ss'}) (1-\delta_{jkjk''}) (1-\delta_{ss''}) (1-\delta_{jk'jk''}) (1-\delta_{s's''})$$

$$\times (1-\pi_{jk}^s) \left[ \prod_{i \neq jk}^{Jk} \pi_i^s \right] \times (1-\pi_{jk'}^{s'}) (1-\pi_{jk''}^{s''}) \left[ \prod_{i \neq jk, jk'}^{Jk} \pi_i^{s'} \right]$$

$$\times (1-\pi_{jk}^{s''}) (1-\pi_{jk'}^{s''}) \pi_{jk''}^{s''} (r_{jk}^{Oh} + r_{jk'}^{sh} + r_{jk''}^{s'h}) \leq r_{jk''}^{s''h} + 2$$

$$(s, s', s''=1, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K, j_k, j_{k'}, j_{k''}=1, \dots, J_k) \quad \dots(23)$$

【0076】この式は、時間帯  $h$  のODペア  $k$  において、バス  $j_k$  は現用バスであり ( $r_{jk}^{Oh}=1$ )、状態  $s$  ではバス  $j_k$  以外の全てのバスは正常状態、

1) という条件を示している。

【0067】この第1の実施の形態の変形例としては、障害発生時に、障害を受けた現用バスが、収容される各リンクで使用している資源を、障害を受けていないリンクで解放しない場合の上式(9)の変形である。この場合は以下になる。

【0068】まず、状態  $s$  において、正常なリンク  $m$  を経由するバス  $j_k$  が  $m$  以外に経由する他の全てのリンクの中で1つでも障害があるリンクがある時1、障害であるリンクがない時0となるインディケータを  $\phi_{jk}^{ms}$  とすると、これは次式(19)、(20)で計算できる。

【0069】

【数6】

$$\dots(19)$$

【0071】

【数7】

の資源を解放しない場合には、式(9)を次式(22)で置き換える。

【0073】

【数8】

に、以下の制約条件を加える。

【0075】

【数9】

【0077】

【数10】

$$((1 - \pi_{jk}^s) \prod_{i \neq jk}^{15} \pi_i^s = 1)$$

【0078】にあり、この状態 $s$ でパス $j_k'$ が第1予備パスとして選択され( $r_{j_k'}^{sh} = 1$ )、状態 $s'$ では

$$((1 - \pi_{jk}^{s'}) (1 - \pi_{jk'}^{s'}) \prod_{i \neq jk, jk'}^{16} \pi_i^{s'} = 1)$$

【0080】この状態 $s'$ でパス $j_k''$ は第2予備パスとして選択され( $r_{j_k''}^{s'h} = 1$ )、状態 $s''$ で現用パス $j_k$ および第1予備パス $j_k'$ が障害の影響を受け、かつ第2予備パス $j_k''$ が正常状態( $(1 - \pi_{jk}^{s''}) (1 - \pi_{jk'}^{s''}) \pi_{j_k''}^{s''} = 1$ )であれば、その状態 $s''$ でパス $j_k''$ も使用される( $r_{j_k''}^{s'h} = 1$ )という条件を表す。よって、実際の障害回復においては、各ODペアは、現用パスが障害を受けた場合は、まず第1予備パスの設定を試み、それが失敗した場合は、第2予備パスの設定を試みる。

【0081】次に、本発明の第1の実施の形態の具体例を示す一実施例について、図1を参照して説明する。

【0082】まず、ネットワークのトポロジーと、全ての2重リンク障害までの障害パターンと、各ODペアの各時間帯における、正常状態および障害状態での要求容量と、各ODペアにおけるパス候補を与える(ステップA1)。

【0083】次に、これに基づいて上記問題1で第2の変形例を考慮した混合整数計画問題を設定して解く(ステップA2)。

【0084】そしてこの問題1を解いて得られる結果から、 $d_m$ をリンク $m$ に割り当てる容量とし、 $r_{jk}^{0h} = 1$ となるパス $j_k$ をODペア $k$ の時間帯 $h$ における現用パス $j_k^{0h}$ として容量 $v_k^{Nh}$ を割り当てる。

【0085】次に、ある $s$  ( $= 1, \dots, S$ )に対して、

【0086】

【数12】

$$(1 - \pi_{jk}^{s, 0h}) \pi_{jk}^s r_{jk}^{sh} = 1$$

【0087】となるパス $j_k$ をODペア $k$ の時間帯 $h$ における第1予備パス $j_k^{1h}$ とし、パス設定時には容量 $v_k^{Ph}$ を割り当てる。

【0088】更にある $s$  ( $= 1, \dots, S$ )に対して、

【0089】

【数13】

$$(1 - \pi_{jk}^{s, 0h}) (1 - \pi_{jk}^{s, 1h}) r_{jk}^s = 1$$

【0090】となるパス $j_k$ をODペア $k$ の時間帯 $h$ における第2予備パス $j_k^{2h}$ とし、パス設定時には容量 $v_k^{Ph}$ を割り当てる(ステップA3)。

【0091】こうして、本発明の第1の実施の形態においては、各ODペアの時間帯毎に異なる要求容量を考慮し、かつ現用パスおよび予備パスを同時に考慮するの

現用パス $j_k$ および第1予備パス $j_k'$ 以外は全て正常状態であり、

【0079】

【数11】

で、より少ないコストで物理ネットワークを設計することが可能となる。

【0092】次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。これは、論理ネットワークの設計に関するものである。本発明は、第2の実施の形態において、単一の時間帯とネットワークの正常状態および各障害状態において、各ODペアを結ぶ複数のパスに割り当てる容量と、パスを使用するか否かを示すインディケータと、要求容量を満足する割合の各ODペアとネットワークの正常状態および各障害状態の間における最小値で定義される満足度の逆数とをそれぞれ表す変数を含み、複数もしくは単一の時間帯と、ネットワークの各障害状態および正常状態において、各リンクが収容する各パスの容量の総和は、あらかじめ与えられたリンクの容量と満足度の逆数を表す変数との積を越えないことを示す制約条件と、単一の時間帯において各ODペアが使用する現用パスは、ネットワークの障害状態において、現用パスがネットワークの障害の影響を受けない場合は使用するという制約条件と、単一の時間帯において各ODペアが使用する予備パスは、ネットワークの障害状態において、現用パスがネットワークの障害の影響を受けない場合は使用するという制約条件と、を含み、満足度の逆数を表す変数を目的関数として最小化する混合整数計画問題を解き(図2のステップB2)、その解に基づいて、各ODペアが使用する現用パスと、単一もしくは複数の予備パスとを決定し、現用パスおよび予備パスに割り当てるべき容量は、各ODペアの現用パスおよび予備パスへの要求容量と目的関数を最適化した値との商でそれぞれ与える(図2のステップB3)。

【0093】これは、ある与えられた時間帯の要求容量に対して設計をすることから、先に定義した定数および変数から上付き添え時 $h$ があるものは、これを落とす。

【0094】この設計問題を定式化するための記号について説明する。

【0095】・ $d_m^*$ : 与えられた、リンク $m$ の容量。

・ $z$ : 各状態の各ODペアにおける要求容量を満たす割合の最小値で定義される満足度。

【0096】これにより、ODペア $k$ を結ぶパスが現用パスあるいは予備パスとして使用される場合は、 $z v_k^N$ あるいは $z v_k^F$ の容量が割り当てられることが制約条件となる。ここで、従来の論理ネットワークの設計における拡大率最大化問題における目的関数を $x$ とくと、

【0097】

【数14】

$$\sum_{k=1}^K (e_k^{m0} x v_k^N + e_k^{ms} x v_k^F) \leq d_m^* \quad (s=1, \dots, S, m=1, \dots, M) \quad \dots(24)$$

【0098】となり、各ODペア間では、現用パスおよび予備パスに要求される容量がそれぞれ  $x v_k^N$ ,  $x v_k^F$  となることから、満足度  $z$  は拡大率  $x$  とは等価であることがわかる。

【0099】ここで、満足度の逆数を、 $u = 1/z$  とおき、次に、 $u c_{jk}^s$  ( $s=0, \dots, S$ ) を、改めて  $c_{jk}^s$  と 10 おく。

【0100】これにあわせて、リンク容量は、 $d_m^* u$  ( $m=1, \dots, M$ ) というように、与えられたリンク容量と満足度の積で与える必要がある。

minimize  $u$

【0101】これにより、論理ネットワークの設計は、次に示すように満足度の逆数  $u$  を最小化する混合整数計画問題として定式化できる。ただし、ここでは、各ODペアが使用するパスの候補は互いに同一のリンクを経由しないものとし、障害パターンは一重リンク障害のみを考える。

【0102】[問題2] :

【0103】

【数15】

... (25)

$$\text{subject to } \sum_{k=1}^K \sum_{j_k=1}^{J_k} g_{jk}^m c_{jk}^s \leq f_m^s d_m^* u \quad (s=0, \dots, S, m=1, \dots, M) \quad \dots(26)$$

$$\sum_{j_k=1}^{J_k} r_{jk}^s = 1 \quad (s=0, \dots, S, k=1, \dots, K) \quad \dots(27)$$

$$c_{jk}^0 \geq v_k^N r_{jk}^0 \quad (k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(28)$$

$$c_{jk}^s \geq \pi_{jk}^s v_k^N r_{jk}^0 \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(29)$$

$$r_{jk}^s \geq \pi_{jk}^s r_{jk}^0 \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(30)$$

$$c_{jk}^s \geq v_k^F r_{jk}^s \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(31)$$

$$(1 - \delta_{jkjk'}) (1 - \delta_{ss'}) (1 - \pi_{jk}^s) \left[ \prod_{i \neq j_k}^{J_k} \pi_i^s \right] (1 - \pi_{jk'}^{s'}) \pi_{jk'}^{s'} (r_{jk}^0 + r_{jk'}^s) \leq r_{jk'}^{s'} + 1$$

$$(s, s' = 1, \dots, S, k = 1, \dots, K, j_k, j_{k'} = 1, \dots, J_k) \quad \dots(32)$$

$$u \geq 0 \quad \dots(33)$$

$$c_{jk}^s \geq 0 \quad (s=0, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(34)$$

$$r_{jk}^s = 0 \text{ or } 1 \quad (s=0, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(35)$$

【0104】ここで、上記問題の容量の解を  $c_{jk}^{s*}$ 、目的関数の最適値を  $u^*$  とおけば、求めるべき各パスの容

量は  $c_{jk}^{s*}/u^*$  で与えられる。

【0105】この第2の実施の形態の第1の変形例は、第1の実施の形態の第1の変形例と同じく、障害発生時に、障害の影響を受けた現用パスの資源を、そのパスが経由する障害を受けていない他のリンクで解放しないこ

$$\sum_{k=1}^K \sum_{jk=1}^{Jk} (g_{jk}^m c_{jk}^s + \phi_{jk}^{ms} c_{jk}^0) \leq f_m^s d_m^* u \quad (s=0, \dots, S, m=1, \dots, M) \quad \dots(36)$$

【0107】第2の実施の形態の第2の変形例は、第1の実施の形態と同じく、2重リンク障害を考慮した時の第2予備パスの選択方法に関する制約条件である。この

$$(1-\delta_{jkjk'}) (1-\delta_{ss'}) (1-\delta_{jkjk''}) (1-\delta_{ss''}) (1-\delta_{jk'jk''}) (1-\delta_{s's''})$$

$$\times (1-\pi_{jk}^s) \left[ \prod_{i \neq jk}^{Jk} \pi_i^s \right] (1-\pi_{jk}^{s'}) (1-\pi_{jk'}^{s'}) \left[ \prod_{i \neq jk, jk'}^{Jk} \pi_i^{s'} \right]$$

$$\times (1-\pi_{jk}^{s''}) (1-\pi_{jk'}^{s''}) \pi_{jk''}^{s''} (r_{jk}^0 + r_{jk'}^s + r_{jk''}^{s'}) \leq r_{jk''}^{s''} + 2$$

$$(s, s', s''=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k, j_{k'}, j_{k''}=1, \dots, J_k) \quad \dots(37)$$

【0109】次に、この第2の実施の形態の一実施例について図2を参照して説明する。

【0110】まず、物理ネットワークのトポロジーと、リンク容量  $d_m^*$  ( $m=1, \dots, M$ ) と、障害パターンと、各ODペアの、正常状態および障害状態での要求容量と、各ODペアにおける現用パスおよび予備パス候補を与える(ステップB1)。

【0111】次に、これに基づいて上記問題2で第2の変形例を考慮した混合整数計画問題を設定して解く(ステップB2)。

【0112】そして得られた解から、 $r_{jk}^0=1$  となるパス  $j_k$  をODペア  $k$  の現用パス  $j_k^I$  として容量  $v_k^N/u^*$  を割り当てる。

【0113】次に、ある  $s$  ( $=1, \dots, S$ ) に対して、

【0114】

【数18】

$$(1-\pi_{jk}^s) \pi_{jk}^s r_{jk}^s = 1$$

【0115】となるパス  $j_k$  をODペア  $k$  の第1予備パス  $j_k^I$  として、パス設定時には容量  $v_k^F/u^*$  を割り当てることにする。

【0116】更に、ある  $s$  ( $=1, \dots, S$ ) に対して、

【0117】

【数19】

$$(1-\pi_{jk}^s) (1-\pi_{jk'}^s) r_{jk}^s = 1$$

【0118】となるパス  $j_k$  を第2予備パス  $j_k^{II}$  とし、

とを考慮するための制約条件の変更である。この場合、式(26)を次式(36)で置き換える。

【0106】

【数16】

とき、式(32)に加えて以下の制約条件を加える。

【0108】

【数17】

$$(1-\delta_{jkjk'}) (1-\delta_{ss'}) (1-\delta_{jkjk''}) (1-\delta_{ss''}) (1-\delta_{jk'jk''}) (1-\delta_{s's''})$$

パス設定時には容量  $v_k^F/u^*$  を割り当てることにする(ステップB3)。

【0119】こうして、この第2の実施の形態の形態では、混合整数計画問題を設定して解いた結果から現用パスと予備パスを決定するので、満足度をより最適にすることができる。

【0120】次に本発明の第3の実施の形態について説明する。本発明は、その第3の実施の形態において、ネットワークの障害状態において障害が発生したリンク、もしくは障害が発生したノードに接続するリンクを除いてできるネットワークを新たに正常状態にある第2のネットワークと見なし、第2のネットワークにおいて各ODペアが使用する現用パスは、ネットワークの障害の影響を受けないODペアが使用する現用パスと、ネットワークの障害の影響を受けたODペアが使用する予備パスで与え(図3のステップC1)、単一の時間帯とネットワークの各障害状態において、各ODペアを結ぶ複数のパスに割り当てる容量と、パスを使用するか否かを示すインディケータと、要求容量を満足する割合の各ODペアおよびネットワークの各障害状態との間での最小値で定義される満足度の逆数をそれぞれ表す変数を含み、複数もしくは単一の時間帯と、ネットワークの各障害状態および正常状態において、各リンクが収容する各パスの容量の総和は、第2のネットワークから与えられるリンクの容量と満足度の逆数を表す変数との積を越えないことを示す制約条件と、単一の時間帯において各ODペアが使用する現用パスは、ネットワークの障害状態において、現用パスがネットワークの障害の影響を受けない場

合は使用することを表す制約条件と、各ODペアが使用する予備パスは、ネットワークの障害状態において、現用パスがネットワークの障害の影響を受け、かつ予備パスがネットワークの障害の影響を受けない場合は使用することを表す制約条件と、を含み、要求容量を満足する割合の最小値の逆数を表す変数を目的関数として最小化する混合整数計画問題を解き（図3のステップC2参照）、その解に基づいて、各ODペアが使用する1つの予備パスを決定し、予備パスに割り当てるべき容量は、各ODペアがネットワークの障害の影響を受けた場合の要求容量と目的関数を最適化した値との商で与える（図3のステップB2参照）。

【0121】本発明の第3の実施の形態においては、現用パスがネットワークの障害の影響を受けたODペアは予備パスへの切替えを行ったあと、予備パスが無くなったODペアも含めて、全てのODペアに対して予備パスを決定するための論理ネットワークの再構成である。ここでは、ネットワークは、単一リンク障害のみを仮定して設計した結果、各ODペアには予備パスは1本だけ用意されている場合を考える。

【0122】まず、障害を受けたリンクを、はじめのネ

ットワークから除いてできるトポロジーを持つネットワークを新たに正常状態にあるネットワークと見なす。

【0123】更に、予備パスへの切替えを行った時点で、各ODペアが使用しているパスを現用パス $j_k^{0*}$  ( $k=1, \dots, K$ )とし、これに基づいて正常状態におけるインディケータ値 $r_{jk}^{0*}$  ( $k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k$ )を与える。

【0124】そして、障害時の要求容量 $v_k^F$ を満足する割合の、ネットワークの各障害状態および各ODペアの間における最小値で定義される満足度の逆数 $u$ を最小化する設計を行う。

【0125】ここでは、上記問題2と同様に、各リンク容量は、新たに正常状態にあるネットワークのリンク容量に満足度の逆数 $u$ をかけたもので与える必要がある。ただし、各ODペアが使用するパスの候補は互いに同一のリンクを経由しないものとし、障害パターンは一重リンク障害のみを考える。

【0126】[問題3]：

【0127】

20 【数20】

$$\text{minimize } u \quad \dots(38)$$

$$\text{subject to } \sum_{k=1}^K \sum_{jk=1}^{J_k} g_{jk}^m c_{jk}^s \leq f_m^s d_m^* u \quad (s=1, \dots, S, m=1, \dots, M) \quad \dots(39)$$

$$\sum_{jk=1}^{J_k} r_{jk}^s = 1 \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K) \quad \dots(40)$$

$$c_{jk}^s \geq \pi_{jk}^s v_k^N r_{jk}^{0*} \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(41)$$

$$r_{jk}^s \geq \pi_{jk}^s r_{jk}^{0*} \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(42)$$

$$c_{jk}^s \geq v_k^F r_{jk}^s \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(43)$$

$$(1 - \delta_{jkjk'}) (1 - \delta_{ss'}) (1 - \pi_{jk}^s) \left( \prod_{i \neq jk}^{J_k} \pi_i^s \right) (1 - \pi_{jk'}^{s'}) \pi_{jk'}^{s'} (r_{jk}^{0*} + r_{jk'}^s) \\ \leq r_{jk'}^{s'} + 1 \\ (s, s' = 1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k, j_k' = 1, \dots, J_k) \quad \dots(44)$$

$$u \geq 0 \quad \dots(45)$$

$$c_{jk}^s \geq 0 \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(46)$$

$$r_{jk}^s = 0 \text{ or } 1 \quad (s=1, \dots, S, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(47)$$

【0128】ここで、 $v_k^F = v_k^N$  ( $k=1, \dots, K$ )であれば、この設計は、各ODペア間での障害時回復率の最小値を最大化するものとなる。

【0129】この実施の形態の第1の変形例は、前記第1の実施の形態での第1の変形例と同じく、障害回復を行う際に、現用パスの資源を、それが経由する障害でな

$$\sum_{k=1}^K \sum_{jk=1}^{J_k} (g_{jk}^m c_{jk}^s + \phi_{jk}^{ms} c_{jk}^{0*}) \leq f_m^s d_m^* u \quad (s=1, \dots, S, m=1, \dots, M) \quad \dots(48)$$

【0131】次に、この第3の実施の形態の実施例について図3を参照して説明する。

【0132】まず、新たに正常状態にあるネットワークのトポロジーと、リンク容量  $d_m^*$  ( $m=1, \dots, M$ ) と、一重リンク障害パターンを与え、現用パスが障害の影響を受けたODペアが、現用パスを予備パスに切替えた後に、各ODペアが使用しているパスを現用パス  $j_k^{0*}$  ( $k=1, \dots, K$ ) とし、各パスのインディケータの値を  $r_{jk}^{0*} = 1$  ( $j_k = j_k^{0*}$ )、 $0$  ( $j_k \neq j_k^{0*}$ ) ( $k=1, \dots, K$ ) とする (ステップC1)。

い他のリンクにおいて解放しないことを考慮するための制約条件の変更である。この場合、式(39)を次式(48)で置き換える。

【0130】

【数21】

【0133】次に、これに基づいて上記問題3の混合整数計画問題を設定して解く (ステップC2)。

【0134】最後に得られた解から、ある  $s$  ( $s=1, \dots, S$ ) に対して、

【0135】

【数22】

$$(1 - \pi_{jk}^{s0*}) \pi_{jk}^s r_{jk}^s = 1$$

【0136】となるパス $j_k$ をODペア $k$ の第1予備パス $j_k^I$ として、容量 $v_k^F/u^*$ を割り当てることにする(ステップC3)。

【0137】こうして、この実施例においては、障害発生後予備パスへの切替えを終了した時点で与えられる現用パスに対して、設計問題を定式化するので、現用パスがネットワークの障害の影響を受けたODペアが予備パスへの切替えが終わった時点で、各ODペアが現用パスを切替えることなく、全てのODペアに対して予備パスを最適に決定することができる。

【0138】最後に、上記した本発明の第1から第3までの実施の形態に共通の変形例について説明する。

【0139】要求容量がパスの方向によって異なる場合、問題1~3において、特に次のような番号、定数、

$$c_{2jk}^{sh}, c_{2k+1}^{sh}, r_{2k}^{sh}, r_{2k+1}^{sh} \\ v_{2k}^{Nh}, v_{2k+1}^{Nh}, v_{2k}^{Fh}, v_{2k+1}^{Fh}$$

【0144】また、パスは双方向で同一のリンクに収容されるのが通常であるが、その場合、次式(51)となり、

$$g_{2jk}^{2m} = g_{2jk+1}^{2m+1} \quad (m=1, \dots, M, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(51)$$

【0146】各パスは双方向同時に使用される必要があるので、次式(52)の制約条件を加える。

$$r_{2jk}^{sh} = r_{2jk+1}^{sh} \quad (s=1, \dots, S, h=1, \dots, H, k=1, \dots, K, j_k=1, \dots, J_k) \quad \dots(52)$$

【0148】この変形例においては、このようにして、双方向で要求容量が異なる場合、リンク、ODペア、パスに関して各方向毎に定数、変数を設定した問題を定式化するので、各方向で要求容量の大きな方を用いて、方向性を考慮せずに設計する場合に比べてコストの削減が可能となる。

【0149】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、下記記載の効果を奏する。

【0150】(1)本発明の第1の効果は、与えられた現用パスに対して予備パスを収容するように設計したり、各時間帯における最大の要求容量に対して設計したり、方向毎に異なる要求容量の最大値に対して設計したり、する場合に比べて、設計結果としてのコストを低減し、さらには満足度を増大する、ことができる、ということである。

【0151】その理由は、本発明においては、ネットワークの各障害状態もしくは正常状態毎、もしくは各時間帯毎、もしくは各方向毎に各パスに割り当てる容量と各パスの使用の有無とを変数として含む混合整数計画問題を解いてネットワークを設計する、ようにしてことによる。

【0152】(2)本発明の第2の効果は、障害発生時

変数の設定を行う。

【0140】すなわち、ノードに番号を振り、ODペア、パスおよびリンクはノード番号の小さな方から大きな方の方向に対して偶数番号を、大きな方から小さな方の方向に対して奇数番号をそれぞれ振る。

【0141】よって、ODペアに振る番号は $2k, 2k+1$  ( $k=1, \dots, K$ )、リンクに振る番号は、 $2m, 2m+1$  ( $m=1, \dots, M$ )、パスに振る番号は $2j_k, 2j_k+1$  ( $j_k=1, \dots, J_k$ )となる。

【0142】これに応じて、変数も次式(49)となり、また一般に異なるとした要求容量も次式(50)と表す。

【0143】

$$\text{【数23】} \quad \dots(49)$$

$$\dots(50)$$

【0145】

【数24】

【0147】

【数25】

の制御にかかるコストが削減され、特に、高速性を追及して、各ODペアは障害の影響を受けたと判断した場合にのみ、各ODペアが主体となって障害の影響を受けた現用パスを予備パスに切替えるという障害回復制御を可能としている、ということである。

【0153】その理由は、本発明においては、各ODペアが使用する現用パスおよび予備パスは、ネットワークの障害の影響を受けない限り、それぞれ同一のパスを使用するという制約を含む混合整数計画問題を解いてネットワークを設計する、ように構成したことによる。

【0154】(3)本発明の第3の効果は、リンク容量とトポロジーが与えられたネットワークに対して、各ODペアでの要求容量の満足度、あるいは回復率を最大化するように、現用パスと予備パスを決定することができる、ということである。

【0155】その理由は、本発明においては、満足度、あるいは回復率を最大化するために、満足度あるいは回復率の逆数を最小化すべき目的関数に含む混合整数計画問題を設定し、この解に基づいてネットワークを設計する、ように構成したことによる。

【0156】(4)本発明の第4の効果は、障害回復を行ったパスに対して、予備パスを確保するため、ネットワークの再構成を行う場合のコストを削減する、という



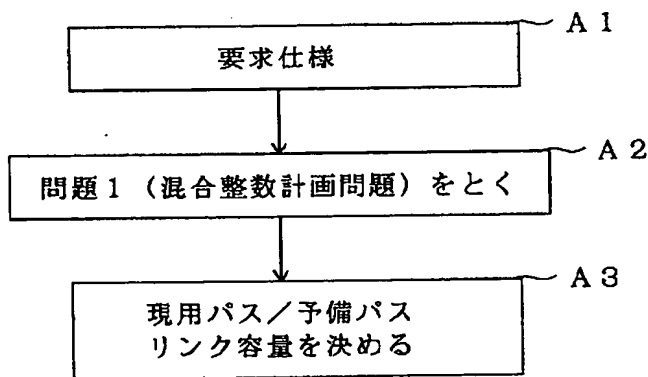
ことである。

【0157】その理由は、本発明においては、ネットワークの障害の影響を受けたODペアが予備パスへの切替えを行った後に、各ODペアが使用しているパスを現用パスとして与え、これに対して、満足度あるいは回復率を最大化するための混合整数計画問題を定式化し、その解に基づいて、各ODペアの予備パスを決定する、ように構成したことによる。

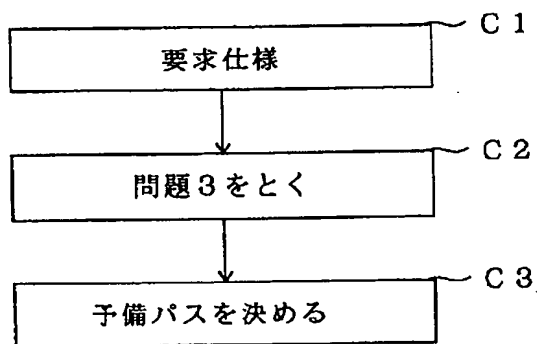
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の処理フローを説明するためのフローチャートである。

【図1】



【図3】



【図2】本発明の第2の実施例の処理フローを説明するためのフローチャートである。

【図3】本発明の第3の実施例の処理フローを説明するためのフローチャートである。

【図4】設計対象となるネットワークを説明するための図である。

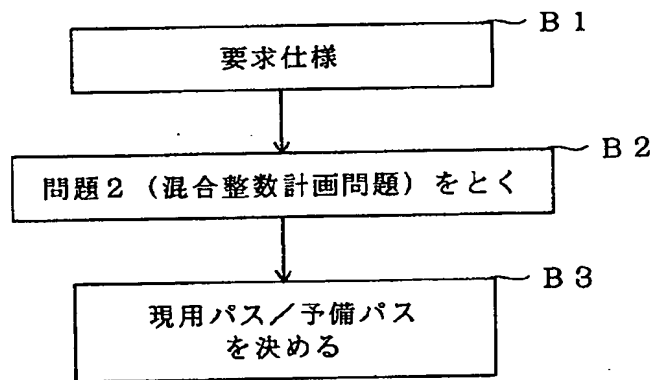
【符号の説明】

11～15 ノード

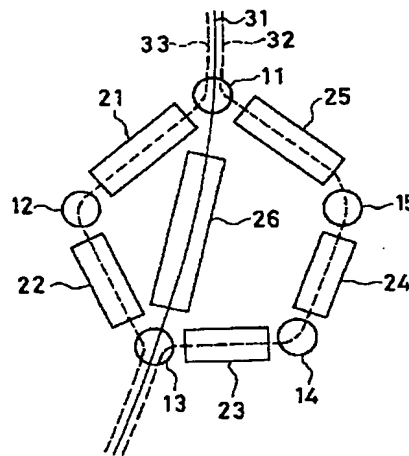
21～26 リンク

31～33 パス

【図2】



【図4】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**